В.Б. Кононов¹, В.В. Бурцева²

¹Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

²Військова частина А0785, Харків

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ МІНІМАЛЬНОЇ ГАРАНТОВАНОЇ КІЬКОСТІ ЗАМОВЛЕНЬ МЕТРОЛОГІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ЗРАЗКІВ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

Предметом вивчення у статті є питання прогнозування мінімальної гарантованої кількості замовлень на метрологічне обслуговування засобів вимірювальної техніки (далі –ЗВТ) зразків озброєння та військової техніки (далі – ОВТ). *Метою статті* є імітаційне моделювання прогнозування мінімальної кількості гарантованих замовлень на проведення метрологічного обслуговування ЗВТ зразків ОВТ для перевірки достовірності аналогічних аналітичних моделей.

Задача, що вирішується – обґрунтовується та досліджується імітаційна модель, побудована на основі розроблених раніше аналітичних моделей вирішення задач прогнозування мінімальної гарантованої кількості замовлень метрологічного обслуговування ЗВТ зразків ОВТ, достатньої для забезпечення підтримки належного стану бойової готовності військових частин (підрозділів). У структурі імітаційної моделі передбачено, що на першому етапі, за допомогою випадкового пошуку проводиться відбір найбільш важливих за видами зразків ОВТ, а на другому – здійснюється випадковий пошук плану замовлень на метрологічне обслуговування ЗВТ, для обраних зразків ОВТ. За результатами імітаційного моделювання робиться висновок про достовірність аналітичних моделей. **Висновки:** запропонована імітаційна модель дозволяє вирішувати задачу визначення мінімальної гарантованої кількості замовлень на метрологічне обслуговування ЗВТ зразків ОВТ та визначати ступінь достовірності розроблених раніше аналітичних моделей.

Ключові слова: прогнозування кількості замовлень на проведення метрологічного обслуговування військових засобів вимірювальної техніки зразків озброєння та військової техніки, математична модель, імітаційна модель.

Вступ

Постановка задачі. Одним з найважливіших та пріоритетніших напрямків, особливо в умовах виконання Операції об'єднаних сил, є пошук шляхів удосконалення метрологічного забезпечення зразків ОВТ військових частин. Одним з основних складових метрологічного забезпечення зразків ОВТ є метрологічне обслуговування їх штатних ЗВТ. Однак, проведений аналіз виявив, що в останні роки кількість військових частин, у яких не проведено метрологічне обслуговування ЗВТ дорівнює близько 15 %. Основними причинами цього є недоліки з планування та існуючі фінансові й матеріальні обмеження. Обслуговування ЗВТ у місцях дислокації військ (сил) проводиться виїзними метрологічними групами (далі – ВМГ) регіональних військових метрологічних частин (РВМЧ). Щорічно, відповідно до заявок військових частин (формувань), регіональні військові метрологічні частини

планують обсяг робіт, замовляють потрібні для цього фінансові та матеріальні ресурси, планують кількість ВМГ і об'єми робіт з проведення метрологічного обслуговування ЗВТ у військових частинах.

В умовах реформування Збройних Сил та діючого особливого періоду змінюється структура та кількість військових формувань регіону й тому інколи заявки від військових частин на проведення метрологічного обслуговування ЗВТ надходять пізніше встановленого Керівництвом [2] строку, що в подальшому призводить до необхідності коригування об'ємів робіт в умовах вже існуючої чисельності ВМГ, спланованих фінансових та матеріальних ресурсах.

Отже, з метою удосконалення планування робіт ВМГ пропонується одночасно з плануванням змін структур та кількості військових формувань регіону проводити прогнозування необхідної мінімальної гарантованої кількості замовлень метрологічного

обслуговування ЗВТ, з обов'язковим урахуванням важливості зразків ОВТ, для виконання завдань за призначенням та підтримання належного стану бойової готовності військових частин (підрозділів) регіону.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загальні принципи й організаційні основи метрологічного забезпечення військових формувань Збройних Сил України, викладено в наказах [1–4], інструкції [12], посібнику [11]. У наказі [5] визначені вимоги щодо метрологічного забезпечення зразків ОВТ при оцінці стану озброєння та військової техніки військових формувань. Основні аспекти щодо планування та роботи ВМГ в місцях дислокації військ (сил) викладені в [6]. Для прогнозування кількості замовлень на гарантоване метрологічне обслуговування ЗВТ зразків озброєння та військової техніки з урахуванням їх важливості в статті [7] запропоновані математичні моделі. В статті [8] надаються методи прогнозування потреби на метрологічне обслуговування військових засобів вимірювальної техніки зразків ОВТ з використанням математичних моделей [7]. Статті [9–10] присвячені розробці імітаційних моделей пошуку оптимальних маршрутів руху ВМГ, що дозволяє суттєво зменшити витрати загального часу на пересування і збільшення часу на виконання ними заходів з метрологічного забезпечення, з урахуванням відповідних обмежень на сумарну вартість та транспортні витрати. В [13–15] розглядаються питання організації роботи виїзних метрологічних груп регіональних метрологічних частин. У той же час дослідження достовірності математичних моделей прогнозування потреби з метрологічного обслуговування військових засобів вимірювальної техніки зразків озброєння та військової техніки, що представлені в [7–8], у джерелах [6; 9–11] не розглядалися.

Тому завдання, що вирішуються у статті, є актуальними.

Метою статті є імітаційне моделювання прогнозування мінімальної кількості гарантованих замовлень на проведення метрологічного обслуговування ЗВТ зразків ОВТ для перевірки достовірності аналогічних аналітичних моделей.

Виклад основного матеріалу

Вирішення завдань метрологічного забезпечення зразків ОВТ штатними ЗВТ має два напрямки.

Перший напрямок – це забезпечення потрібної комплектності штатними ЗВТ зразків ОВТ, за рахунок постачання справних ЗВТ на заміну відсутніх або непридатних. Забезпечення потрібної комплектності, шляхом доукомплектування зразків ОВТ штатними ЗВТ та КПА покладається на відповідні служби озброєння та метрологічні служби військових формувань.

Другий напрямок – це виконання заходів з підтримання або відновлення працездатності (придатності до застосування) існуючих (штатних) ЗВТ, яке здійснюється шляхом виконання своєчасної повірки (калібрування), у випадку необхідності – здійснюється поточний ремонт ЗВТ військових частин (підрозділів).

Завдання своєчасного проведення вищезазначених заходів покладаються на ВМГ військових метрологічних лабораторій (частин).

Надалі, під метрологічним обслуговуванням ЗВТ зразків ОВТ пропонується розуміти метрологічне обслуговування спеціальної контрольно-перевірочної апаратури (далі – спеціальна КПА), як комплексу робіт [3] з визначення її технічного стану, готовності до застосування та встановлення необхідності її настроювання, регулювання або ремонту шляхом виконання вимірювань та контролю параметрів (характеристик), а також повірку (калібрування) та поточний ремонт штатних засобів вимірювальної техніки спеціальної КПА, вбудованих та переносних ЗВТ зі складу зразків ОВТ, тих ЗВТ, що закладені у ЗІП різного рівня.

У статті передбачається, що кожному засобу вимірювальної техніки встановлюється у відповідність одне замовлення.

Мінімальна гарантована кількість замовлень на метрологічне обслуговування ЗВТ військових частин (підрозділів) відповідно до вимог [2; 5] визначається через вимоги до стану метрологічного забезпечення кожного зразка ОВТ і, взагалі, за військову частину на оцінку “задовільно”.

Отже, на оцінку “задовільно” кількість відсутніх та непридатних до застосування ЗВТ зразка ОВТ не повинна перевищувати 10 %, за умови відсутності чи несправності ЗВТ, вмонтованих в апаратуру (щитових вимірювальних приладів).

Непридатними до застосування вважаються ЗВТ, якщо вони:

- несправні;
- неповірені (невідкалібровані);
- мають порушення закріплювального тавра;
- відсутності, в наявності, документації (графіків, таблиць, формулярів чи паспортів), пристроїв зі складу ЗІП, які є необхідними для виконання вимірювань цим ЗВТ.

Під час оцінювання технічного стану ОВТ не враховуються:

- ЗВТ, які непридатні до використання, у разі неякісного виготовлення промисловістю та ЗВТ, на які оформлені рекламацийні акти;
- ЗВТ, що підготовлені до списання з обліку або до відправки в ремонт, якщо вони оформлені відповідними документами та знаходяться на окремому зберіганні;

– ЗВТ, які відповідно до нормативних документів не підлягають повірці (калібруванню).

До зразка ОВТ можуть входити ЗВТ різного призначення, а саме:

- вбудовані ЗВТ (вимірювальні у складі апаратури (обладнання) та КПА);
- переносні ЗВТ;
- ЗВТ у складі ЗПП.

Для отримання будь-якої з позитивних оцінок, під час перевірки метрологічного забезпечення зразка ОВТ – обов'язковою вимогою є 100 % справності вбудованих ЗВТ та мінімальна кількість приладів, кожного типу зі складу переносних, яка забезпечує контроль технічного стану, відновлення працездатності, шляхом поточного ремонту та технічне обслуговування цього зразка ОВТ (особливо під час самостійного виконання завдань за призначенням).

Розробка імітаційної моделі передбачає не тільки використання та перевірку вхідних даних, цільової функції з обмеженнями, логіка вирішення яких була запропонована математичними моделями [7–8], а й введенням змінних параметрів, які використовуються під час випадкового пошуку.

З урахуванням вищевказаного, модель оптимального прогнозування вирішує завдання пошуку 80% від загальної кількості зразків ОВТ, з урахуванням важливості та визначається наступними співвідношеннями цілочисельного лінійного програмування:

$$\begin{aligned} \min \left\{ x_{iu}^3 \right\} & \left\{ \sum_{u=1}^{U_i} w_u^{об} x_{iu}^3 \right\}; \\ \sum_{u=1}^{U_0} (N_{iu}^0 + x_{iu}^3) & \geq 0,8 \sum_{u=1}^{U_i} N_{iu}^{U_0}; \\ 0 \leq x_{iu}^3 & \leq N_{iu} - N_{iu}^0; \\ x_{iu}^3 & = [x_{iu}^3]; u = \overline{1, U_i}, i = \overline{1, I_0}, \end{aligned} \quad (1)$$

де I_0 – кількість військових частин (підрозділів), ЗВТ яких підлягають метрологічному обслуговуванню;

U_i – кількість видів зразків ОВТ i -ї військової частини (підрозділу);

$N_{iu}, u = \overline{1, U_i}, i = \overline{1, I_0}$ – загальна кількість зразків ОВТ u -го виду i -ї військової частини (підрозділу);

$N_{iu}^0, u = \overline{1, U_i}; i = \overline{1, I_0}$ – кількість зразків ОВТ u -го виду i -ї військової частини (підрозділу), ЗВТ яких не потребують метрологічного обслуговування. У випадку, якщо зразки ОВТ відсутні у військовій частині (підрозділу), то $N_{iu}^0 = 0$;

$x_{iu}^3, u = \overline{1, U_i}; i = \overline{1, I_0}$ – кількість відібраних, за важливістю, зразків ОВТ u -го виду i -ї військової

частини (підрозділу), ЗВТ яких підлягає метрологічному обслуговуванню;

w_{iu} – коефіцієнт важливості зразків ОВТ u -го виду, i -ї військової частини (підрозділу), при цьому здійснюється упорядкування зразків ОВТ за важливістю: $w_{i1} \geq w_{i2} \geq \dots \geq w_{U_i}$;

$$w_{iu}^{об} = \frac{1}{U_i \sum_{u=1}^{U_i} \frac{1}{w_{iu}}}, u = \overline{1, U_i} - \text{обернене значення}$$

відносного коефіцієнта важливості w_{iu} зразка озброєння та військової техніки u -го виду;

Зміст другої математичної моделі [7–8] полягає у вирішенні задачі оптимального прогнозування за допомогою цілочисельного лінійного програмування, цільовою функцією якої є визначення мінімальної гарантованої кількості замовлень з урахуванням вимог, визначених в Інструкції [5], з метою забезпечення належного стану готовності військових частин:

$$\begin{aligned} \min \left\{ y_{iuj}^3 \right\} & \sum_{i=1}^{I_0} \sum_{u=1}^{U_i} \sum_{j=1}^{J_{iu}} y_{iuj}^3; \\ \sum_{j=1}^{J_{iu}} \left(\sum_{v=1}^{x_{iu}^3} b_{iuvj} - y_{iuj}^3 \right) & \leq (1 - \theta_{iu}^3) b_{iu}; \\ \sum_{j=1}^{J_{iu}} \left(\sum_{v=1}^{x_{iu}^3} b_{iuvj} - y_{iuj}^3 \right) & \leq (1 - \theta_{iu}^3) b_{iu}, i = \overline{1, I_0}, u = \overline{1, U_i}; \quad (2) \end{aligned}$$

$$y_{iuj}^0 \leq y_{iuj}^3 \leq \sum_{v=1}^{x_{iu}^3} b_{iuvj}, i = \overline{1, I_0}, u = \overline{1, U_i}, j = \overline{1, J_0},$$

де $y_{iuj}^3, i = \overline{1, I_0}, u = \overline{1, U_i}, j = \overline{1, J_0}$ – кількість ЗВТ j -го типу, яка підлягає повірці (калібруванню), з метою отримання задовільної оцінки метрологічного забезпечення зразків ОВТ u -го виду i -ї військової частини (підрозділу);

$y_{iuj}^0, i = \overline{1, I_0}, u = \overline{1, U_i}, j = \overline{1, J_0}$ – кількість вбудованих та переносних ЗВТ j -го типу зразків ОВТ u -го виду i -ї військової частини (підрозділу), які відповідно до вимог Інструкції [5] повинні бути обов'язково повірені (відкалібровані) для задовільної оцінки метрологічного забезпечення зразків ОВТ;

$b_{iuvj}, i = \overline{1, I_0}, u = \overline{1, U_i}, v = \overline{1, N_{iu}}, j = \overline{1, J_0}$ – кількість ЗВТ j -го типу v -го за нумерацією зразка ОВТ u -го виду i -ї військової частини. Причому, якщо зразки ОВТ u -го виду відсутні в i -й військовій частині (підрозділу), або ЗВТ j -го типу відсутні в зразках ОВТ u -го виду, то $b_{iuvj} = 0$;

$$b_{iu}, i = \overline{1, I_0}, u = \overline{1, U_i} - \text{загальна кількість ЗВТ}$$

зразків ОБТ i -го виду i -ї військової частини;

θ_{iu}^3 – коефіцієнти оцінювання ступеню укомплектованості придатними до застосування ЗВТ зразків ОБТ (на оцінку “задовільно”) [5].

Визначимось, що імітаційна модель полягає у модельному відтворенні процесу за допомогою стохастичної математичної моделі та обчисленні характеристик цього процесу. Відповідно до вхідних даних математичних моделей (1) і (2) відомими будемо враховувати перелік наступних постійних (I_0 , U_0 , N_{iu} , N_{iu}^0 , θ_{iu}^3) та змінних параметрів:

M_0 – допоміжне достатньо велике позитивне число;

M_1 – задана кількість випробувань імітаційної моделі;

M_2 – задана кількість випробувань щодо пошуку плану замовлень в імітаційній моделі;

S_1 , S_2 , S_3 – допоміжні змінні під час пошуку мінімальної сумарної кількості замовлень в імітаційній моделі;

L_{min} – мінімальна гарантована сумарна кількість замовлень, яка в подальшому визначається за моделями (1) і (2);

Ψ – випадкова величина, визначена за рівномірним законом розподілу на інтервалі (0, 1);

ДВЧ (Ψ) – датчик випадкових чисел, який відповідає рівномірному закону розподілу на інтервалі (0, 1).

Результатом імітаційного моделювання планується отримати перевірку адекватності моделей (1) і (2), шляхом випадкового пошуку при заданій чисельності випадкових реалізацій мінімальної сумарної кількості ЗВТ найбільш важливих зразків ОБТ військових частин для виконання завдань за призначенням. Результати роботи надаються у вигляді процедури, реалізованої на мові Visual Basic for Application (VBA), що дозволяє інтегрувати модель в уже існуючу інформаційну систему, забезпечує високі презентаційні можливості, чого не можна сказати про таблиці та цифри.

Розглянемо зміст імітаційного моделювання, представлене процедурою, що надана на рис. 1.

В блоках 1 і 2 здійснюється введення вхідних параметрів та підготовка обчислювального процесу.

З блока 3 починається чергова реалізація імітаційного процесу розрахунку плану замовлень на метрологічне обслуговування ЗВТ найбільш важливих зразків ОБТ кожної військової частини (підрозділу) для забезпечення заданого рівня бойової готовності.

У блоці 4 визначаються: масив m_{iu} – загальну кількість зразків ОБТ, штатні ЗВТ яких підлягають метрологічному обслуговуванню за типами та за номерами військових частин (підрозділів) та масив p_i – мінімальну кількість найбільш важливих зразків ОБТ

за номерами військових частин на оцінку “задовільно” (не менше ніж 80% від загальної кількості)

$$m_{iu} := N_{iu} - N_{iu}^0, \quad i = \overline{1, I_0}, \quad u = \overline{1, U_i}; \quad (3)$$

$$n_i := \sum_{u=0}^{U_0} (0,8N_{iu} - N_{iu}^0), \quad i = \overline{1, I_0}, \quad (4)$$

З 5 блока починається цикл визначення мінімальної кількості, упорядкованих за важливістю, зразків ОБТ, ЗВТ яких підлягають метрологічному обслуговуванню в кожній військовій частині. З цією метою в блоці 5 датчиком випадкових чисел ДВЧ (Ψ) здійснюється генерація чисел $\{\psi_u\}$; $u = \overline{1, U_i}$, рівномірно розподілених на інтервалі (0,5; 1).

В 6 блоці числа впорядковуються за зростанням: $\psi_1 \geq \psi_2 \geq \dots \geq \psi_{U_0}$, (отже, найбільш важливим зразкам ОБТ відповідають більші значення випадкової змінної).

Масив зразків ОБТ x_{iu} , відібраних за важливістю, формується у блоці 7 з використанням нормованих коефіцієнтів важливості w_{iu} та нормуючого вагового коефіцієнта K_i^* за співвідношеннями:

$$K_i^* := \frac{\sum_{u=1}^{U_0} N_{iu}}{\sum_{u=1}^{U_0} \sum_{u=1}^{U_0} (N_{iu} \Psi_u)}; \quad (5)$$

$$w_{iu} = \psi_u K_i^*; \quad (6)$$

У блоці 8 на основі вагового коефіцієнта, розраховується масив зразків ОБТ, з урахуванням важливості кожного зразка, ЗВТ яких підлягають метрологічному обслуговуванню:

$$x_{iu} := [w_{iu} m_{iu}], \quad i = \overline{1, I_0}, \quad u = \overline{1, U_0}. \quad (7)$$

В блоках 9–12 організовано цикл підрахунку необхідної мінімальної кількості (не менше ніж 80% від загальної кількості) найбільш важливих зразків ОБТ, з метою забезпечення задовільного рівня метрологічного забезпечення кожної i -ї військової частини.

В блоках 13–15 виконується перехід до підрахунку мінімальної кількості найбільш важливих зразків ОБТ чергової $(i+1)$ -ї військової частини та перевірка завершення підрахунку сумарної кількості зразків ОБТ за всіма військовими частинами.

У блоці 16 розраховується масив сумарної, за типами, кількості ЗВТ кожного виду зразків ОБТ, з урахуванням важливості кожної військової частини

$$b_{\Sigma iuj} = x_{iu}^3 b_{iuj}, \quad i = \overline{1, I_0}, \quad u = \overline{1, U_i}, \quad j = \overline{1, J_0}, \quad (8)$$

та масив мінімальної кількості ЗВТ, з урахуванням вимог укомплектованості, метрологічне обслуговування яких дозволить в подальшому отримати оцінку “задовільно”

$$b_{iu}^* = x_{iu}^3 \left(\sum_{j=1}^{J_0} \theta_{iu}^3 b_{ij}^3 - \sum_{j=1}^{J_0} b_{ij}^0 \right). \quad (9)$$

Другим етапом імітаційної моделі є розрахунок та пошук плану замовлень метрологічного обслуговування ЗВТ.

Для цього в блоці 19, як і в попередньому процесі імітації, знову датчиком випадкових чисел ДВЧ (Ψ) генеруються випадкові числа $\{\psi_u\}$; $u = \overline{1, U_i}$ рівномірно розподілені на інтервалі (0, 1).

Масиви нормуючих вагових коефіцієнтів K_{iu}^* та коефіцієнти важливості μ_{iu} ЗВТ зразків ОВТ

формується у блоці 20:

$$K_i^* := \frac{J_0 m_{iu}}{\sum_{j=1}^{J_0} (m_{iu} \Psi_u)}; \quad (10)$$

$$\mu_{iu} = \Psi_u K_i^*. \quad (11)$$

Коефіцієнти важливості μ_{iu} ЗВТ зразків ОВТ впорядковуються зі зростанням в блоці 21:

$$\mu_{iu1} > \mu_{iu2} > \dots > \mu_{iuJ_0}. \quad (12)$$

В блоці 22 розраховуються масиви ЗВТ, яких буде достатньо для виконання умов на оцінку “задовільно”:

$$y_{ij}^3 := [\mu_{iu} b_{\Sigma iuj}], \quad i = \overline{1, I_0}, \quad u = \overline{1, U_0}, \quad j = \overline{1, J_0}. \quad (13)$$

Рис. 1. Блок-схема процедури імітаційної моделі

В блоці 23 розраховується сумарна кількість замовлень метрологічного обслуговування ЗВТ кожного виду зразка ОВТ для кожної окремої частини:

$$\rho_{iu} = \sum_{j=1}^{J_0} y_{iuj}^3 \cdot \quad (14)$$

В блоці 24 проводиться вирішення задачі порівняння між мінімальною кількістю ЗВТ, обчисленої в блоках 16–18 та кількістю замовлень, яке було отримано шляхом проведеного випадкового пошуку замовлень, на основі обчислених масивів нормуючих вагових коефіцієнтів K_{iu}^* та коефіцієнтів важливості μ_{iu} ЗВТ зразків ОВТ (блоки 19–22).

$$\rho_{iu} \geq b_{iuj}^3, \quad (15)$$

У блоці 25 розраховується сумарна кількість замовлень ЗВТ зразків ОВТ всіх військових частин регіону, відібраних завдяки випадковому пошуку в блоках 19–22:

$$S_3 = \sum_{i=1}^{I_0} \sum_{u=1}^{x_{iu}} \rho_{iu} \cdot \quad (16)$$

В блоках 26, ..., 32 виконується перевірка заданої кількості випробувань імітаційної моделі M_1 та заданої кількості M_2 – випробувань щодо пошуку плану замовлень в імітаційній моделі.

В блоці 33 проводиться перевірка на достовірність моделей (1) і (2), шляхом порівняння мінімальної гарантованої сумарної кількості замовлень L_{min} , визначених за вищезазначеними моделями з результатом проведеного випадкового пошуку імітаційною моделлю, достовірність яких фіксується блоками 34 і 35.

З метою реалізації та перевірки правильності створеної імітаційної моделі та достовірності моделей (1) і (2) було розроблено програму імітаційного моделювання, реалізовану за допомогою спрощеної мови програмування, яка вбудована в MS Excel (рис. 2) та має назву VBA, програмний код якої може бути виконано тільки в додатку, в якому його було написано.

У зв'язку із тим, що мова програмування спрощена – вона не потребує великої кількості часу для її опанування з метою реалізації даного алгоритму. Табличний процесор Excel було обрано оскільки він сам по собі містить велику кількість вбудованих математичних та логічних функцій, які дозволяють виконувати операції з даними, розташованими в чарунках таблиць.

У свою чергу, мову об'єктно-орієнтованого програмування було обрано оскільки вона дозволяє реалізувати роботу користувача з об'єктами введення та відображення даних, кнопками, формами тощо.

Для перевірки достовірності моделей (1) і (2) виконується імітаційний процес з заданою кількістю

випробувань проведення випадкового пошуку мінімально гарантованої кількості замовлень на метрологічне обслуговування ЗВТ найбільш важливих зразків ОВТ.

Кількість замовлень, знайдена під час імітаційного моделювання порівнюється з результатом, отриманим за аналітичними моделями (1) і (2).

У випадку, коли результат випадкового пошуку більше результату, отриманого за аналітичними моделями, то приймається рішення про те, що “не має підстав вважати аналітичні моделі недостовірними”, у протилежному випадку – аналітичні моделі недостовірні.

Рис. 2. Результати розрахунків за програмою імітаційного моделювання

На рис. 2 показаний вид екрану з результатами проведенні обчислювального експерименту за розробленою програмою.

Висновки

1. Запропоновано імітаційну модель з двоетапним випадковим пошуком, яка була побудована на основі розроблених раніше аналітичних моделей.

2. Розроблена імітаційна модель передбачає, що на першому етапі проводиться відбір, визначених за допомогою випадкового пошуку, найбільш важливих за видами зразків ОБТ, а на другому – здійснюється випадковий пошук плану замовлень метрологічного обслуговування ЗВТ, для обраних на першому етапі зразків ОБТ та перевірка аналітичних моделей на достовірність.

3. З метою реалізації та перевірки правильності створеної імітаційної моделі та достовірності моделей (1) і (2) було розроблено програму імітаційного моделювання, реалізовану за допомогою спрощеної мови програмування, яка вбудована в MS Excel та має назву Visual Basic for Application (VBA).

4. Імітаційна модель дозволила оцінити ступінь достовірності аналогічних аналітичних моделей прогнозування мінімальної кількості замовлень на метрологічне обслуговування зразків ОБТ з урахуванням їх важливості для забезпечення заданого рівня бойової готовності військових частин (підрозділів).

Список літератури

1. Наказ Міністерства оборони України “Про затвердження Положення про метрологічну службу Міністерства оборони України та Збройних Сил України № 288 від 24.05.2017”.
2. Наказ заступника Міністра оборони з озброєння – начальника Озброєння Збройних Сил України “Про затвердження Керівництва з організації та порядку експлуатації вимірювальної техніки у Збройних Силах України № 79 від 01.06.2001”.
3. Наказ Міністерства оборони України “Про затвердження Інструкції з організації метрологічного обслуговування спеціальної контрольно-перевірочної апаратури № 907 від 19.12.2014”.
4. Наказ начальника Центрального управління метрології і стандартизації “Про затвердження Керівництва з організації виробничої діяльності військових метрологічних лабораторій в Міністерстві оборони України та Збройних Силах України № 2 від 14.05.2007”.
5. Наказ Міністерства оборони України та Генерального штабу Збройних Сил “Інструкція з перевірки та оцінки стану озброєння та військової техніки у Збройних Силах України № 88 від 01 березня 2018”.
6. Кононов В.Б. Методика оцінювання ефективності планування метрологічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки виїзними метрологічними групами / В.Б. Кононов, Ю.І. Шевяков, Ю.І. Кушнерук // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 2(46). – С. 32-34.
7. Кононов В.Б. Математичні моделі визначення кількості замовлень на гарантоване метрологічне обслуговування зразків озброєння та військової техніки з урахуванням їх важливості / В.Б. Кононов, В.В. Бурцева // Системи обробки інформації. – 2017. – № 1(147). – С. 88-92.
8. Кононов В.Б. Математичні моделі й методи прогнозування кількості замовлень щодо метрологічного обслуговування зразків озброєння та військової техніки / В.Б. Кононов, В.В. Бурцева // Системи озброєння і військова техніка. – 2019. – № 4(60). – С. 73-80.
9. Кононов В.Б. Імітаційна модель планування роботи спеціалізованих виїзних метрологічних груп регіональних метрологічних частин / В.Б. Кононов, А.В. Петляк // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2017. – № 5(54). – С. 155-158.
10. Імітаційна модель визначення оптимального плану розподілу й відповідних оптимальних маршрутів руху виїзних метрологічних груп / В.Б. Кононов, Ю.І. Шевяков, Ю.І. Кушнерук, Д.А. Філістєєв // Системи обробки інформації. – 2015. – № 1(126). – С. 32-36.
11. Instrumentation and general principles of sensors. Part 1 / В.Б. Кононов, А.М. Науменко, О.В. Коваль та ін. – Х.: ХНУПС, 2018. – 64 с.
12. Кузнецов І.Б. Організація метрологічного забезпечення військ (сил). Ч. 1 / І.Б. Кузнецов, П.М. Яблонський. – К.: НУОУ, 2009. – 356 с.
13. Кузнецов І.Б. Організація застосування пересувних засобів метрологічного обслуговування / І.Б. Кузнецов, О.В. Ярошенко. – К.: НУОУ, 2009. – 355 с.
14. Інструкція Начальника Центрального управління метрології і стандартизації-головного метролога ЗС України “Організація роботи виїзних метрологічних груп метрологічних частин від 09.10.2006”.
15. Удосконалення парку пересувних лабораторій вимірювальної техніки як фактор підвищення оперативності та ефективності метрологічного обслуговування складних систем / І.Б. Кузнецов, В.Т. Марценківський, О.В. Ярошенко, О.В. Буяло, В.О. Проценко // Збірник наукових праць Київського національного університету ім. Т. Шевченка. – 2011. – № 32. – С. 33-46.

References

1. The Order of the Ministry of Defense of Ukraine (2017), “Pro zatverdzhennia Polozhennia pro metrolohichnu sluzhbu Ministerstva oborony Ukrainy ta Zbroinykh Syl Ukrainy No. 288 vid 24.05.2017” [About approval of the Provision on metrological service of the Ministry of Defence of Ukraine and Armed Forces of Ukraine No. 288 dated 24.05.2017].

2. The Order of the deputy of Ministry of Defense for Arms – Chief of the Armed Forces of Ukraine (2001), “Pro zatverdzhennia Kerivnytstva z organizatsii ta poryadku ekspluatatsii zasobiv vymiriuvanoi tekhniki u Zbroinykh Sylakh Ukrainy No. 79 vid 01.06.2001” [On approval of the Manual on the organization and operation of measuring equipment in the Armed Forces of Ukraine No. 79 dated 01.06.2001].
3. The Order of the Head of the Central Department of Metrology and Standardization (2007), “Pro zatverdzhennia Kerivnytstva z orhanizatsii vyrobnychoi diialnosti viiskovykh metrolohichnykh laboratorii v Ministerstvi oborony Ukrainy ta Zbroinykh Sylakh Ukrainy No. 2 vid 14.05.2007” [About approval of the Manual for the organization of production activities of military metrology laboratories in the Ministry of Defense of Ukraine and the Armed Forces of Ukraine No. 2 dated 14.05.2007].
4. The Order of the Ministry of Defense of Ukraine (2014), “Pro zatverdzhennia Instrukttsii z organizatsii metrolohichne obsluhovuvannia spetsialnoi kontrolno-perevirochnoi aparatury No. 907 vid 19.12.2014” [About approval of the Manual on the organization of production activity of military metrological laboratories in the Ministry of Defense of Ukraine and the Armed Forces of Ukraine No. 907 dated 19.12.2014].
5. The Order of the Ministry of Defense of Ukraine (2018), “Instrukttsiia z perevirky ta otsinku stanu ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki Zbroinykh Sylakh Ukrainy No. 88 vid 01.03.2018” [Instruction on inspection and assessment of the state of armaments and military equipment in the Armed Forces of Ukraine No. 88 dated 01.03.2018].
6. Kononov, V.B., Sheviakov, Yu.I. and Kushneruk, Yu.I. (2016), “Metodyka otsiniuvannia efektyvnosti planuvannia metrolohichnoho obsluhovuvannia zrazkiv ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki vyiznykh metrolohichnykh hrup” [Methodology for evaluating the effectiveness of planning metrological maintenance of samples of weapons and military equipment by visiting metrological groups] *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 2(46), pp. 32-34.
7. Kononov, V.B. and Burtseva, V.V. (2017), “Matematychni modeli vyznachennia kilkosti zamovlen na harantovane metrolohichne obsluhovuvannia zrazkiv ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki z urakhuvanniam yikh vazhlyvosti Systemy obrobky informatsii” [Mathematical models for determination of the number of orders for guaranteed metrological maintenance of weapons and military equipment samples taking into account their importance of Information processing systems], *Information Processing Systems*, No. 1(147), pp. 88-92.
8. Kononov, V.B. and Burtseva, V.V. (2019), “Matematychni modeli i metody prohnozyvannia kilkosti zamovlen shodo metrolohichnjho obsluhovuvannia zrazkiv ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki” [Mathematical models and methods for forecasting the number of orders for metrological service of weapons and military equipment], *Systems of Arms and Military Equipment*, No. 4(60), pp. 73-80.
9. Kononov, V.B. and Petliak, A.V. (2017), “Imitatsiina model planuvannia roboty spetsializovanykh vyiznykh metrolohichnykh hrup rehionalnykh metrolohichnykh hrup” [Simulation model of planning work of specialized field metrology groups of regional metrology units], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 5(54), pp. 155-158.
10. Kononov, V.B., Sheviakov, Yu.I., Kushneruk, Yu.I. and Felisteev, D.A. (2015), “Imitatsiina model vyznachennia optimalnogo planu rozpodilu i vidpovidnykh optimalnykh marshrutiv vyiznykh metrolohichnykh hrup” [Simulation model of determining the optimal distribution plan and the corresponding optimal routes of movement of outgoing metrological groups], *Information Processing Systems*, No.1(126), pp. 32-36.
11. Kononov, V.B., Naumenko, A.M. and Koval, O.V. (2018), *Instrumentation and general principles of sensors. Part 1: Tutorial*, pp. 32-36.
12. Kusnetsov, I.B. and Yablonskiy, P.M. (2009), “Orhanizatsiia metrolohichnoho zabezpechennia viisk (syl)” [Organization of metrological support of troops (forces)], NUOU, Kyiv, 356 p.
13. Kusnetsov, I.B. and Yaroshenko, O.V. (2009), “Orhanizatsiia zastosuuvannia peresuvnykh zasobiv metrolohichnoho obsluhovuvannia” [Organization of the using of mobile metrological services], NUOU, Kyiv, 355 p.
14. Instruction of the Head of the Central Department of Metrology and Standardization, Chief Metrologist of the Armed Forces of Ukraine (2006), “Orhanizatsiia roboty vyiznykh metrolohichnykh hrup metrolohichnykh chastyn vid 09.10.2006” [Organization of work of visiting metrological groups of metrological units dated 09.10.2006].
15. Kusnetsov, I.B., Martcenkivskiy, V.T., Yaroshenko, O.V., Buyalo, O.V. and Protsenko, V.O. (2011), “Udoskonalennia parku peresuvnykh laboratorii vymiriuvanoi tekhniki yak faktor pidvyshchennia operatyvnosti ta efektyvnosti metrolohichnoho obsluhovuvannia skladnykh system” [Improvement of park of mobile laboratories of measuring technique as a factor of increasing efficiency and efficiency of metrological service of complex systems], *Collection of Scientific Works of Taras Shevchenko Kyiv National University*, No. 32, pp. 33-46.

Надійшла до редколегії 25.02.2020

Схвалена до друку 10.03.2020

Відомості про авторів:**Кононов Володимир Борисович**

доктор технічних наук професор
начальник кафедри
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9946-5056>

Information about the authors:**Volodymyr Kononov**

Doctor of Technical Science Professor
Chief of the Department
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9946-5056>

Бурцева Вікторія Валеріївна
молодший науковий співробітник
військової частини А0785,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-1867-4615>

Viktoria Burtseva
Junior Research
of Military Unit A0785,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-1867-4615>

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНИМАЛЬНОГО ГАРАНТИРОВАННОГО ЧИСЛА ЗАКАЗОВ НА МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ОБРАЗЦОВ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

В.Б. Кононов, В.В. Бурцева

Предметом рассмотрения в статье является вопрос прогнозирования минимального гарантированного количества заказов на метрологическое обслуживание средств измерительной техники образцов вооружения и военной техники. Целью статьи является имитационное моделирование прогнозирования минимального гарантированного числа заказов на проведение метрологического обслуживания средств измерительной техники образцов вооружения и военной техники для проверки достоверности аналогичных аналитических моделей. Задача, которая решается, – обосновывается и исследуется имитационная модель, которая построена на основе разработанных ранее аналитических моделей решения задачи прогнозирования минимального гарантированного количества заказов метрологического обслуживания средств измерительной техники образцов вооружения и военной техники, достаточной для обеспечения поддержки надлежащего состояния боевой готовности военных частей (подразделений). В структуре имитационной модели предусмотрено, что на первом этапе, с помощью случайного поиска проводится отбор наиболее важных за видами образцов вооружения и военной техники, а на втором – осуществляется случайный поиск плана заказов на метрологическое обслуживание средств измерительной техники, для избранных образцов вооружения и военной техники. Имитационная модель доведена до уровня программной реализации с использованием упрощенного языка программирования, который встроен в MS Excel и имеет название VBA. По результатам имитационного моделирования делается вывод о достоверности аналитических моделей. Выводы: предложенная имитационная модель позволяет решать задачу определения минимального гарантированного количества заказов на метрологическое обслуживание средств измерительной техники образцов вооружения и военной техники и определять степень достоверности разработанных ранее аналитических моделей.

Ключевые слова: прогнозирование количества заказов на проведение метрологического обслуживания военных средств измерительной техники образцов вооружения и военной техники, математическая модель, имитационная модель.

SIMULATION MODEL FOR DETERMINATION OF THE MINIMUM GUARANTEED NUMBER OF ORDERS FOR METROLOGICAL MAINTENANCE OF MEASURING EQUIPMENT FOR SAMPLES OF ARMS AND MILITARY EQUIPMENT

V. Kononov, V. Burtseva

The subject of study in the article is the question of prognostication of the minimum guaranteed number of orders for metrological maintenance of measuring equipment samples of weapons and military equipment. The purpose of this article is simulation modeling of forecasting the minimum guaranteed number of orders for metrological maintenance of measuring equipment of weapons and military equipment for validation of similar analytical models. The problem solved with the help of the simulation model is justified and investigated, which is based on previously developed analytical models for solving the problem of forecasting the minimum guaranteed number of metrological service orders of measuring equipment samples of weapons and military equipment sufficient to ensure support for the proper state of combat readiness of military units (units). In order to implement and verify the correctness of the created simulation model and the reliability of models, a simulation program was developed, implemented using a simplified programming language, which is built into MS Excel and is called Visual Basic for Application. The conclusions of the proposed simulation model allows us to solve the problem of determining the minimum guaranteed number of orders for metrological maintenance of measuring instruments of samples weapons and military equipment and determine the degree of reliability of previously developed analytical models.

Keywords: forecasting the number of orders for conducting metrological services for military measuring instruments of weapons and military equipment, a mathematical model, a simulation model.